

Ю. А. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ ПРОФИЛЕЙ НАСТИЛОВ С ПРОСЕЧНО-ВЫТЯЖНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

С целью изучения особенностей технологического процесса валковой формовки профилей с просечно-вытяжными элементами противоскольжения и получения данных, необходимых для его проектирования, на стане и на лабораторном оборудовании проведен комплекс экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния металла и энергосиловых параметров процесса. Компоненты напряженно-деформированного состояния металла определены с использованием метода измерения твердости и микротвердости, а также утонения металла в очаге деформации. Экспериментальные исследования позволили определить усилия и крутящие моменты формовки как профиля в целом, так и отдельных просечно-вытяжных элементов, а также отбортовок. Установлен циклический характер технологического процесса, при котором в каждом цикле присутствуют три максимума, отражающие три характерные фазы формовки, связанные с окончанием формовки разного числа просечно-вытяжных элементов в поперечном сечении профиля. Измерен крутящий момент, необходимый для преодоления трения в подшипниках стана. Получена эмпирическая зависимость, позволяющая определить максимальное усилие деформирования, необходимое для формовки любого профиля с аналогичным размещением просечно-вытяжных элементов, если известно усилие формовки одного элемента. Формула может быть использоваться при моделировании процесса валковой формовки.

Ключевые слова: формовка в вальках, состояние напряженно-деформированное, параметры энергосиловые, исследования экспериментальные.

Ю. О. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВАЛКОВОГО ФОРМУВАННЯ ПРОФІЛІВ НАСТИЛІВ З ПРОСІЧНО-ВИТЯЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

З метою вивчення особливостей технологічного процесу валкового формування профілів з просічно-витяжними елементами протиковзання і отримання даних, необхідних для його проектування, на стані і на лабораторному устаткуванні проведено комплекс експериментальних досліджень напружено-деформованого стану металу і енергосилових параметрів процесу. Компоненти напружено-деформованого стану металу визначені з використанням методу вимірювання твердості та мікротвердості, а також стоншення металу в осередку деформації. Експериментальні дослідження, дозволили визначити зусилля і обертовий момент формування як профілю в цілому, так і окремих просічно-витяжних елементів, а також відбортують. Встановлено циклічний характер технологічного процесу, при якому в кожному циклі присутні три максимуми, що відображають три характерні фази формування, пов'язані з закінченням формування різного числа просічно-витяжних елементів в поперечному перетині профілю. Виміряно обертовий момент, необхідний для подолання тертя в підшипниках стану. Отримано емпіричну залежність, що дозволяє визначити максимальне зусилля деформування, необхідне для формування будь-якого профілю з аналогічним розміщенням просічно-витяжних елементів, якщо відомо зусилля формування одного елемента. Формула може використовуватися при моделюванні процесу валкового формування.

Ключові слова: формування в вальках, стан напружено-деформований, параметри енергосилові, дослідження експериментальні.

YU. A. PLESNETSOV, G. M. SUCHKOV

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF THE ROLL FORMING PROFILES OF CUTTINGS WITH CROSS-EXTENSION ELEMENTS

In order to study the peculiarities of the technological process of roll forming of profiles with expanded metal anti-skid elements and obtain the data necessary for its design, a set of experimental studies of the stress-strain state of the metal and the power parameters of the process was carried out on the mill and on the laboratory equipment. The components of the stress-strain state of the metal are determined using the method of measuring hardness and microhardness, as well as thinning the metal in the deformation zone. Experimental studies made it possible to determine the efforts and torques of forming both the profile as a whole, and individual expanded elements, as well as flanging. The cyclical nature of the technological process is established, in which there are three maxima in each cycle, reflecting three characteristic phases of the molding, associated with the completion of the molding of a different number of expanded metal elements in the cross section of the profile. Measured torque required to overcome friction in the bearings of the mill. An empirical relationship is obtained, which allows to determine the maximum deformation force required for the molding of any profile with a similar placement of expanded metal elements, if the molding force of a single element is known. The formula can be used in simulating the roll forming process.

Keywords: roll forming, stress-deformed state, energy-power parameters, experimental studies.

Введение. Для подтверждения правильности исходных предпосылок теоретического анализа, определения степени точности найденных аналитических зависимостей, а также с целью получения дополнительных сведений, необходимых для разработки и проектирования нового технологического процесса валковой формовки профилей настилов с просечно-вытяжными элементами (ПВЭ), были проведены исследования напряженно-деформированного состояния металла при формовке, а также определены энергосиловые параметры процесса.

Методы, оборудование и аппаратура для проведения экспериментальных исследований. Для измерения крутящих моментов и усилий

деформирования использован метод электротензометрии [1–5]. Для исследования пластического формоизменения металла использовали также один из геометрических методов – метод измерения утонений. Известно, что изменение физико-механических свойств металла при его пластической деформации обуславливает изменение его твердости. Следовательно, определив соотношение между твердостью и соответствующими механическими характеристиками металла, можно провести качественный и количественный анализ его напряженно-деформированного состояния на данной стадии формоизменения. На этом принципе основан метод измерения твердости, который использовался при изучении напряженно-деформированного

состояния металла. Метод измерения твердости включает следующие этапы: построение градуировочного графика зависимости между твердостью по Виккерсу, интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций при ступенчатом растяжении образцов и определение соответствующих этой твердости интенсивности напряжений и деформаций по зависимостям:

$$e = \ln \frac{l}{l_0},$$

где l_0 и l – начальная и конечная длина образца (соответственно);

$$\sigma_i = \frac{F}{S},$$

где F – усилие деформирования;

S – площадь поперечного сечения образца.

2. Измерение твердости в различных точках исследуемого объекта после деформирования и построение графика распределения твердости.

3. Построение графиков распределения интенсивности напряжений и интенсивности деформаций по участкам объекта на основе градуировочных графиков.

4. Определение главных деформаций (при плоском деформированном состоянии), которые пропорциональны интенсивности деформаций и определяются по зависимости

$$e_1 = -e_3 = \frac{\sqrt{3}}{2} e_i.$$

Поскольку метод измерения твердости обеспечивает возможность качественного и количественного анализа деформированного состояния металла с учетом его деформационного упрочнения, этот метод был выбран в качестве основного метода экспериментальных исследований

напряженно-деформированного состояния металла профилей с ПВЭ. Дополнительно использовали метод измерения микротвердости, так как установлено, что для большинства сталей и сплавов существует зависимость между макротвердостью и микротвердостью, имеющая вид

$$HV = kH,$$

где HV – число единиц макротвердости по Виккерсу;

H – число единиц микротвердости;

k – эмпирический коэффициент, равный 0,7...0,8.

Кроме проверки правильности первичной информации, полученной методом измерения твердости, метод измерения микротвердости позволяет качественно оценить степень неоднородности механических свойств листовой заготовки по конфигурации получаемых отпечатков.

В работе определяли усилия и крутящие моменты с использованием метода электротензометрии.

Отбор проб, заготовок и образцов от исходных материалов для проведения экспериментальных исследований проводили по ГОСТ 7564. Образцы испытывали на растяжение (ГОСТ 1497) на испытательной машине ZD-10/90. Твердость измеряли на твердомере ТК по Виккерсу согласно ГОСТ 2999 при нагрузке на индентор 294 Н, микротвердость H – по ГОСТ 9450 при нагрузке 0,098 Н. Металлографические исследования были проведены на оптическом микроскопе NU-2E при 100-кратном увеличении (по ГОСТ 1778). Исследования валковой формовки профилей с ПВЭ были проведены на стане 550. Технология валковой формовки была опробована для двух марок стали – ВСт. 3кп и 09Г2. Анализ химического состава и механических свойств сталей показал их соответствие требованиям ГОСТ 19282 и ГОСТ 11474. Результаты соответствующих исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав и механические свойства стали 09Г2, использовавшейся при проведении экспериментальных исследований

Содержание элементов, %								Мех. свойства		
C	Si	Mn	Ni	Cu	Al	P	S	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %
0,13	0,26	0,70	0,07	0,33	0,007	0,02	0,024	287	388	23

Результаты исследований. Металлографические исследования, проведенные с целью выявления неоднородностей металла и включений, которые могли повлиять на результаты исследований, показали, что микроструктура образцов исходных листовых заготовок – однотипная, феррито-перлитная, мелкозернистая – 7-8 баллов. Полосчатость структуры не превышает 1 балла.

Твердость измеряли на стандартных продольных и поперечных образцах (сталь 09Г2), отобранных из различных участков исходных листовых заготовок на поверхности, контактировавшей с валками при прокатке, и на перпендикулярной к ней (торцовой). Обусловленные этим различия в результатах не превышали 2%. В дальнейшем, поскольку

большинство исследованных участков профиля имели криволинейную поверхность, твердость темплетов измеряли на их торце, что обеспечило большую точность измерений диагоналей отпечатков индентора. По результатам статистической обработки полученных экспериментальных данных (табл. 2) был определен исходный уровень твердости.

Ввиду незначительности полученных отклонений этот уровень принят был равным $(138,81^{+1,28}) HV$. Для проверки правильности его определения измеряли также микротвердость H феррита исходных заготовок. Она составляет $(183,4^{+0,9})H$, подтверждает правильность определения уровня твердости исходного материала (см. приведенное выше соотношение HV и H).

Таблица 2 – Результаты измерения твердости исходных образцов

Число измерений, n	Среднее значение, \bar{x}	Дисперсия, D	Среднеквадратичное отклонение, S	Коэффициент вариации (V), %	Доверительный интервал при вероятности 0,95
100	138,81	50,81	7,13	5,14	1,28

Испытаниями на растяжение продольных и поперечных образцов выявлена изотропность механических свойств исходного материала, что дополнительно подтверждается правильной симметричной формой отпечатков индентора при замерах твердости и микротвердости.

Для экспериментального определения зависимости между твердостью HV и интенсивностями напряжений σ_i и деформаций e_i подготовленные образцы с известными уровнями исходной твердости растягивались до различных степеней деформации, после чего вновь измерялась твердость. С использованием приведенных выше выражений были построены градуировочные графики. С большой точностью (коэффициент корреляции 0,95) они могут быть аппроксимированы полиномом

$$y = ax + bx^2 + cx^3.$$

После подбора коэффициентов с использованием ПК полином принял вид:

$$\sigma_i = -8,048HV + 0,118HV^2 - 0,0003HV^3;$$

$$e_i = 1,79 \times 10^{-3}(HV - 138,81) + 8,91 \times 10^{-5}(HV - 138,81)^2 - 6,27 \times 10^{-7}(HV - 138,81)^3.$$

Функциональная связь $\sigma_i = f(e_i)$ аппроксимирована зависимостью вида

$$\sigma_i = A_0 + A_1z + A_2z^2 + A_3z^3,$$

где $A_0 - A_3$ – постоянные коэффициенты;

$$z = e_{пл} - e_y = e_{пл} - 0,002,$$

где e_y и $e_{пл}$ – упругая и пластическая деформация, соответственно.

Для стали 09Г2 предыдущая зависимость принимает вид:

$$\sigma_i = 287 + 1603(e_i - 0,002)^2 - 3512(e_i - 0,002)^3.$$

Коэффициент корреляции для полученной зависимости составляет 0,99.

Для экспериментального определения напряженно-деформированного состояния металла профиля настила в зоне формовки ПВЭ использовали темплеты шириной 3 мм, отобранные таким образом, чтобы можно было сделать замеры с шагом 2 мм в десяти сечениях, параллельных линии просечки, и в перпендикулярных им сечениях, проходящих по гребню элемента. Измерения были проведены на 20 элементах из крайних и из центральных рядов. Различия в результатах, обусловленные расположением элемента по ширине профиля, зафиксированы не были в связи с большой жесткостью валов используемого стана.

С использованием большого инструментального микроскопа БМИ выполнены замеры утонения. Во всех сечениях результаты измерений в сопоставимых точках были практически идентичны. На участке,

отформованном конической частью диск-пуансона, качественный характер распределения утонений сохраняется, но их абсолютная величина затухала до нуля по мере приближения к плоскому участку.

В результате экспериментальных исследований установлено, что деформация растяжения не распространяется за пределы элемента противоскольжения. Утонение в конической части элемента противоскольжения значительно (на 25%) меньше, чем при вытяжке аналогичных закрытых гофров, так как элементы с одной стороны открыты и металл при формовке как бы соскальзывает с диск-пуансона, в результате чего вытяжка с утонением частично заменяется отгибкой. Сопоставление полученных результатов показывает, что утонение и твердость изменяются по продольному сечению ПВЭ аналогично и достигают максимума на одних и тех же участках. Это свидетельствует о корректности постановки эксперимента и правильности выполнения измерений. Следует также отметить, что увеличение твердости на 20% в верхней части ПВЭ, ответственной за обеспечение служебных свойств настила, положительно сказывается на его износостойкости и долговечности.

Экспериментальное определение энергосиловых параметров процесса валковой формовки листовых профилей с просечно-вытяжными элементами противоскольжения.

В процессе отработки технологии производства профилей НПП-660 и изготовления их опытной партии выполнены замеры усилий и крутящих моментов.

Для точного фиксирования момента окончательной отформовки элемента противоскольжения помеченной парой диск-пуансонов на валках были закреплены замыкающие контакты электрической цепи.

Механические свойства металла заготовок определяли на плоских 10-кратных образцах. В результате установлено, что: для стали ВСт3кп $\sigma_{0,2} = 250$ МПа, $\sigma_b = 380$ МПа, $\delta_{10} = 22\%$; для стали 09Г2 $\sigma_{0,2} = 310$ МПа, $\sigma_b = 440$ МПа, $\delta_{10} = 26\%$, то есть все значения, установленные экспериментально, соответствовали справочным.

Перед опытным профилированием зазор между рабочими валками устанавливали равным 2,45 мм с учетом пружинения клетки.

При формовке настила НПП-660 имеют место три характерные фазы:

- 1) формовка двух элементов заканчивается, а четырех – находится в начальной стадии;
- 2) формовка четырех элементов заканчивается, а четырех – находится в начальной стадии;
- 3) формовка четырех элементов заканчивается, а двух – находится в начальной стадии.

Каждой из этих фаз соответствует свой уровень максимальных усилий и крутящих моментов.

Суммарное усилие формовки всего настила F_c имеет две составляющие:

- усилие формовки отбортовок F_o ;
- суммарное усилие формовки элементов противоскольжения $F_{\Sigma 1}, F_{\Sigma 2}, F_{\Sigma 3}$ (в зависимости от того, сколько диск-пуансонов одновременно участвует в формовке профиля).

Элементы противоскольжения расположены таким образом, что при формовке всего настила в работе участвуют сразу несколько диск-пуансонов на различных стадиях формирования элементов, поэтому измерения усилий и крутящих моментов позволяют определить максимальные нагрузки, но не позволяют определить долю нагрузки, приходящуюся на формовку каждого отдельного элемента. Для оценки этой доли энергосиловые параметры измеряли при формовке не только профиля в целом (включая отбортовки у кромок), но и двух центральных рядов, в которых элементы противоскольжения находятся на одной линии и формируются одновременно, на полосах шириной 130 мм и длиной 2400 мм. Для того, чтобы исключить случайные факторы (биение валков, недостаточная точность изготовления сепараторов и диск-пуансонов и др.) и получить сопоставимые результаты, формовку каждой полосы начинали одной и той же парой диск-пуансонов.

Исследованиями установлено, что максимальное усилие при формовке двух соседних элементов из центральных рядов (среднее по десяти измерениям) на стали ВСт. 3кп равно 58,0 кН, на 09Г2 – 75,4 кН. Следовательно, максимальное усилие формовки

одного элемента составляет 29,0 кН и 37,7 кН, соответственно.

При формовке на узкой полосе любых двух других соседних рядов элементов противоскольжения (кроме центральных) перед окончанием формовки элемента в одном ряду начинается формовка элемента в соседнем, поэтому максимальное усилие в момент окончательной доформовки каждого элемента равно 43,3 кН и 55,9 кН для сталей ВСт. 3кп и 09Г2, соответственно, то есть увеличивается почти на 50%. Столь значительные усилия на начальной стадии формовки элементов связаны с разрезкой металла нижней частью диск-пуансона, имеющей небольшой скос. Таким образом, суммарное усилие F_c формовки всех ПВЭ просечного настила можно рассчитать по формуле:

$$F_c = F_1(m + 0,5n), \quad (4.11)$$

где F_1 – максимальное усилие формовки одного ПВЭ;

m – число элементов, расположенных на одной линии, формовка которых заканчивается одновременно;

n – число элементов, начало формовки которых совпадает с завершением формовки m предыдущих элементов в других рядах.

Усилия формовки отбортовок F_o измеряли на двух узких полосах, заданных в крайние участки калибра. Величины этих усилий и максимальных усилий F_{Ci} для трех фаз формовки приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты измерений энергосиловых параметров валковой формовки профиля НПП-660.

Марка стали	Усилия формовки F , кН и крутящие моменты M , кН·м								
	F_o	F_{C1}	F_{C2}	F_{C3}	M_o	$M_{тр}$	M_{C1}	M_{C2}	M_{C3}
ВСт. 3	12,6	120,0	182,0	153,3	0,21	0,68	2,10	3,27	2,92
09Г2	16,5	159,8	236,5	195,2	0,27	0,88	2,73	4,22	3,79

Суммарный максимальный крутящий момент M_c при формовке всего профиля включает три составляющие:

$$M_c = M_o + M_{\Sigma} + M_{тр},$$

где M_o – момент формовки отбортовок;

M_{Σ} – момент формовки элементов противоскольжения, который, как и усилия, имеет три пиковых значения $M_{\Sigma 1}, M_{\Sigma 2}, M_{\Sigma 3}$ – в зависимости от того, сколько диск-пуансонов одновременно участвует в формовке;

$M_{тр}$ – момент трения в подшипниках валков.

При определении крутящих моментов за нулевую отметку на осциллограмме принимали крутящий момент холостого хода. Максимальные крутящие моменты, измеренные на ведущем шпинделе при одновременной формовке двух элементов, составили 1,56 кНм и 2,01 кНм, то есть на формовку одного элемента приходится 0,78 кНм или 1,00 кНм (стали ВСт. 3кп и 09Г2, соответственно), т.е. больше расчетных величин, равных 0,61 кНм и 0,80 кНм. Это объясняется большими потерями на трение в подшипниках валков, которые представляют собой подшипники скольжения с текстолитовыми вкладышами.

Долю крутящего момента, приходящуюся на преодоление трения в опорах валков (подшипниках), определяли, пренебрегая потерями на трение качения валков по полосе и трением в согласующей зубчатой передаче следующим образом. В плоские крайние участки калибров задавали полосы шириной 130 мм, с помощью нажимных устройств зажимали их между валками, доводя усилия зажатия до уровня максимального усилия одновременной формовки двух элементов из центральных рядов и, включив стан, измеряли крутящий момент на шпинделе. Он составил 0,24 кНм для стали ВСт. 3кп и 0,28 кНм – для стали 09Г2. Вычитая эту величину из суммарного максимального крутящего момента M_{C2} , полученного при формовке двух элементов из центральных рядов, получаем крутящий момент одновременной формовки двух элементов. Следовательно, крутящий момент, необходимый для формовки одного элемента противоскольжения на стали ВСт. 3кп, равен 0,54 кНм, на 09Г2 – 0,73 кНм, что на 11% меньше расчетных значений. Этим также подтверждается возможность использования разработанной методики расчета энергосиловых параметров формовки профилей с ПВЭ.

Аналогично определяли долю крутящего момента, приходящуюся на преодоление трения в подшипниках при формовке всего профиля. При усилии защемления полос, равном максимальному усилию формовки профиля F_{C2} , крутящий момент $M_{тр}$ был равен 0,68 или 0,88 кН·м. Вычитая эту величину из суммарного максимального крутящего момента M_{C2} , установили, что максимальный крутящий момент, необходимый для формовки на стане 550 профиля настила НПП-660, равен 2,59 кНм или 3,35 кНм для сталей ВСт. 3 и 09Г2, соответственно. Различия по усилиям и крутящим моментам при использовании этих сталей находятся в пределах их механических свойств.

Исходя из найденных значений энергосиловых параметров формовки и геометрических размеров профиля настила НПП-660 сделать вывод о том, что единственным в Украине профилегибочным агрегатом, на котором можно освоить производство этого и других аналогичных по размерам профилей с ПВЭ без реконструкции оборудования, является ПГА 1...4х400...1500 МК «Запорожсталь».

Выводы.

1. С целью изучения особенностей технологического процесса валковой формовки профилей с просечно-вытяжными элементами противоскольжения и получения данных, необходимых для его проектирования, на стане 550 и на лабораторном оборудовании проведен комплекс экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния металла и энергосиловых параметров процесса.

2. Компоненты напряженно-деформированного состояния металла определены с использованием метода измерения твердости и микротвердости, а также утонения металла в очаге деформации. Для установления зависимости между твердостью HV , интенсивностями деформаций e_i и напряжений σ_i проведена серия ступенчатых испытаний на растяжение образцов используемой стали до различных степеней деформации, после чего вновь измеряли их твердость. В результате получены градуировочные графики, построена номограмма для определения интенсивности напряжений σ_i . Градуировочные графики и график зависимости $\sigma_i = f(e_i)$ аппроксимированы полиномами третьей степени. Проведены измерения твердости металла в зоне формовки ПВЭ. С использованием градуировочных графиков установлено распределение интенсивности деформаций e_i и напряжений σ_i , определены главные деформации.

3. При освоении технологии производства профилей НПП-660 методом тензометрии определены энергосиловые параметры процесса их формовки. Экспериментальные исследования, позволили определить усилия и крутящие моменты формовки как профиля в целом, так и отдельных просечно-вытяжных элементов, а также отборонок. Установлен циклический характер технологического процесса. Измерен крутящий момент, необходимый для преодоления трения в подшипниках стана. В каждом цикле присутствуют три максимума, отражающие три характерные фазы формовки, связанные с окончанием формовки разного числа ПВЭ в поперечном сечении профиля. Максимальное усилие формовки профиля НПП-660 из стали ВСт. 3кп – 182,0 кН; из стали 09Г2 – 236,5 кН, крутящие моменты – 3,27 кНм и 4,22 кНм, соответственно. Получена эмпирическая зависимость, позволяющая определить максимальное усилие деформирования, необходимое для формовки любого профиля с аналогичным размещением ПВЭ, если известно усилие формовки одного элемента. Формула может использоваться при моделировании процесса валковой формовки.

Список литературы

1. Тришевский И.С., Юрченко А.Б., Марьин В.С. Производство гнутых профилей. Оборудование и технология. – Москва: Металлургия, 1982. – 384 с.
2. Производство применение гнутых профилей проката. Справочник. Под редакцией И. С. Тришевского. – Москва: Металлургия, 1975. – 536 с.
3. Тришевский И.С., Докторов М.Е. Теоретические основы процесса профилирования. – Москва: «Металлургия», 1980, – 288 с.
4. Тришевский И. С., Алексеев Ю. Н., Докторов М. Е. Элементы теории профилирования. – Харьков: Изд. УкрНИИМЕТа 1970. – 112 с.
5. Тришевский И. С., Докторов М. Е. Исследование процесса формоизменения полосы на участке плавного перехода при профилировании. Бюл. Черметинформации, 1971, № 18. С. 49–50.

References (transliterated)

1. Trishevskiy I.S., Yurchenko A.B., Mar'in V.S. Proizvodstvo gnutykh profiley. Oborudovaniye i tekhnologiya. – Moscow: Metallurgiya, 1982. – 384 p.
2. Proizvodstvo primeneniye gnutykh profiley prokata. Spravochnik. Pod redaktsiyey I. S. Trishevskogo. – Moscow: Metallurgiya, 1975. – 536 p.
3. Trishevskiy I.S., Doktorov M.Ye. Teoreticheskiye osnovy protsessy profilirovaniya. – Moscow: «Metallurgiya», 1980, s. 288 p.
4. Trishevskiy I. S., Alekseyev YU. N., Doktorov M. Ye. Elementy teorii profilirovaniya. – Kharkov: Izd. UKRNIIMETA 1970. – 112 p.
5. Trishevskiy I. S., Doktorov M. Ye. Issledovaniye protsessy formoizmeneniya polosy na uchastke pavnogo perekhoda pri profilirovanii. Byul. Chermetinformatsii, 1971, No 18. P. 49–50.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Плеснецов Юрий Александрович (Плеснецов Юрий Александрович, Plesnetsov Yuriy Aleksandrovich) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, професор кафедри «Обробка металів тиском», e-mail: plesnetsov@gmail.com

Сучков Григорій Михайлович (Сучков Григорий Михайлович, Suchkov Hrigoriy Mihailovich) – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри «Комп'ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: hpi.suchkov@gmail.com